

# Stabilisasi/Solidifikasi Limbah Mengandung Logam Berat dengan Semen *Portland* dan Tanah Tras

Ristra Megawati Asti Pratiwi, Masrullita, dan Yulinah Trihadiningrum  
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ristramegawati@enviro.its.ac.id

**Abstrak**—Logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb merupakan logam berat yang sering ditemukan dalam buangan industri. Logam berat Cu dan Pb termasuk ke dalam logam berat yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi. Sedangkan logam berat Cr(VI) memiliki tingkat toksisitas yang sedang. Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) merupakan pengolahan yang sering digunakan untuk limbah mengandung logam berat. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan komposisi optimum semen *portland* dan tanah tras untuk mengikat logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb. Variabel penelitian yang dilakukan adalah variasi komposisi semen *portland*:tanah tras yaitu 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100. Benda uji kualitas S/S yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kuat tekan dan uji TCLP. Metode analisis logam berat yang digunakan yaitu metode kolorimetri untuk Cr(VI), neocuproine untuk Cu, dan dithizone untuk Pb.

**Kata Kunci**— Logam berat, stabilisasi/solidifikasi, tanah tras.

## I. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat menjadi salah satu masalah lingkungan yang paling serius saat ini (Karnib dkk, 2014). Menurut Giyatmi dkk (2008), pencemaran logam berat dapat disebabkan oleh buangan limbah anorganik industri yang dalam prosesnya melibatkan penggunaan unsur-unsur logam berat seperti, merkuri (Hg), timbal (Pb), kobalt (Co), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Paparan logam berat tertentu dalam level yang rendah diketahui menyebabkan bahaya terhadap kesehatan manusia (Karnib dkk, 2014).

Logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb sering ditemukan dalam limbah industri (Carpio, 2014). Berdasarkan tingkat toksisitasnya logam berat dibagi menjadi tiga kelompok. Bersifat toksisitas tinggi yaitu Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn, toksisitas sedang yaitu Cr(VI), Ni, dan Co, serta toksisitas rendah yaitu Fe dan Mn (Hartati dkk, 2011).

Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) merupakan suatu teknologi yang berfungsi untuk mengikat kontaminan yang ada dalam limbah dengan penambahan bahan pengikat hidrolis (Leonard dan Stegemann, 2009). S/S hanya digunakan dalam limbah anorganik dan kurang sesuai digunakan untuk limbah organik karena komponen organik dapat menghalangi hidrasi bahan pengikat. Material yang dapat dikombinasikan dengan semen *portland* dalam proses

S/S untuk limbah organik, yaitu bahan yang mempunyai sifat *pozzolanic* (Leonard dan Stegemann, 2009).

Di Indonesia terdapat banyak jenis *pozzolan* alam yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah tanah tras. Indonesia memiliki potensi bahan galian tras, khususnya di Jawa Tengah, yaitu tras Muria Kudus (Suryoatmono dan Susilorini, 2003). Tras berbentuk butiran halus dengan kandungan oksida silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang telah mengalami proses pelapukan hingga derajat tertentu. Tanah tras yang dicampurkan dengan air dan kapur akan membentuk massa yang padat, keras, dan tidak larut di dalam air (Monintja dkk, 2013). Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan tanah tras untuk stabilisasi/solidifikasi limbah mengandung logam berat.

## II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini bahan yang akan digunakan yaitu semen *portland* dan tanah tras diambil di PT. Varia Usaha Gresik. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

### A. Uji konsistensi normal

Uji konsistensi normal dilakukan untuk menentukan jumlah air yang ditambahkan pada setiap komposisi semen *portland*:tanah tras. Komposisi semen *portland*:tanah tras yang digunakan yaitu 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100. Dengan benda uji kontrol yaitu komposisi 100% tanah tras tanpa penambahan logam berat dan 100% semen *portland* tanpa penambahan logam berat.

### B. Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan menggunakan *mixer* pengaduk dengan berat masing-masing komposisi. Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini akan dicetak dalam cetakan kubus yang disebut *specimen mold* dengan ukuran sisi 50 mm.

### C. Masa curing selama 28 hari

*Curing* dilakukan untuk menyempurnakan proses pengerasan beton. *Curing* yang dilakukan adalah *moisture curing* dengan cara meletakkan benda uji diatas genangan air dan menutupnya dengan kain basah. Proses ini bertujuan untuk mencegah terjadinya keretakan pada benda uji.

### D. Uji kuat tekan



Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besaran beban tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol. Berdasarkan Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, kuat tekan minimal yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol minimum 10 ton/m<sup>2</sup>. Uji kuat tekan dilakukan menggunakan alat *Versa Tester Soil Test Type: Model ODP/91211 FRAME 56*.

#### E. Uji TCLP

Uji TCLP bertujuan untuk mengetahui apakah benda uji S/S masih dapat melepaskan kontaminan ke lingkungan. Untuk mengetahui hal tersebut, sampel harus di rotasi-agitasi terlebih dahulu selama  $\pm 18$  jam. Rotasi-agitasi dilakukan dengan menggunakan alat *Rotary Agitator* model S0192. Kadar logam berat pada sampel diukur menggunakan metode dithizone untuk Pb. Prinsip metode dithizone yaitu menggunakan sampel yang telah diasamkan yang mengandung sejumlah Pb, kemudian dicampur dengan *ammoniacal citrate-cyanide reducing solution* dan di ekstrak menggunakan dithizone dengan klorofom untuk membentuk timbal dithizonate berwarna kemerahan.

Pengukuran kadar Cr(VI) menggunakan metode kolorimetri. Metode kolorimetri merupakan metode yang digunakan untuk mengukur hexavalent krom (Cr<sup>+6</sup>). Cr<sup>+6</sup> ditentukan secara kolorimetri oleh reaksi yang terjadi dengan diphenylcarbazine pada larutan asam. Setelah larutan direaksikan dengan diphenylcarbazine, larutan akan menjadi berwarna merah keunguan. Larutan inilah yang diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm

Sedangkan untuk pengukuran logam berat Cu menggunakan metode neocuproine. Prinsip metode neocuproine adalah reaksi yang terjadi antara ion Cu<sup>+</sup> dengan 2,9-dimethyl-1,10-phenanthroline (neocuproine) untuk membentuk senyawa kompleks yaitu 2 mol neocuproine yang terikat pada 1 mol ion Cu<sup>+</sup>. Senyawa kompleks ini diekstraksi dengan beberapa pelarut organik seperti klorofom dan methanol untuk memberikan warna kuning pada larutan yang kemudian diukur absorbansinya dengan panjang gelombang 450 nm. Baku mutu yang digunakan untuk uji TCLP mengacu pada PP RI No. 85 tahun 1999 yaitu Pb sebesar 5 mg/L, Cr(VI) 5 mg/L, dan Cu 10 mg/L.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil uji konsistensi normal

Uji konsistensi normal dilakukan pada benda uji dengan semua variasi komposisi, karena berbeda komposisi antara semen *portland* dan tanah tras maka berbeda pula jumlah air yang harus ditambahkan. Hasil uji konsistensi campuran semen *portland* dan tanah tras dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.

Hasil uji konsistensi normal semen *portland* dan tanah tras

No.	% Perbandingan		Berat (g)		Jumlah Air (mL)
	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	
1	100	0	300	0	82
2	75	25	225	75	92

3	50	50	150	150	103
4	25	75	75	225	111
5	0	100	0	300	120

Berdasarkan hasil uji konsistensi diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak *pozzolan* (tanah tras) yang ditambahkan maka semakin banyak pula jumlah air yang dibutuhkan. Selanjutnya dapat dilakukan pembuatan benda uji dengan komposisi dan jumlah air yang sudah ditentukan.

#### B. Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan menggunakan variasi komposisi semen *portland* dan tanah tras. Untuk 1 cetakan *mortar* dibutuhkan bahan campuran semen *portland* dan tanah tras sebanyak 300 g. Banyaknya jumlah semen *portland* dan tanah tras yang ditambahkan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.

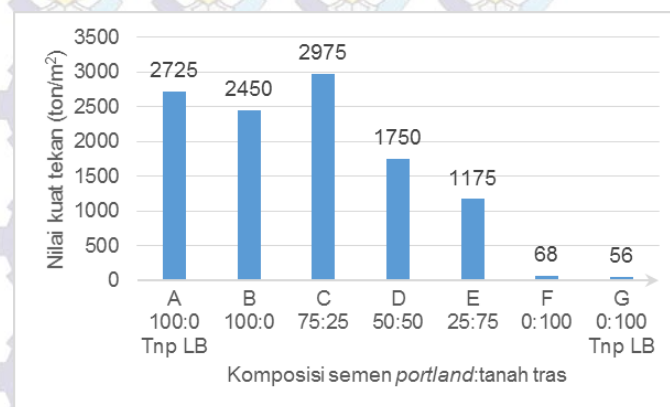
Jumlah Semen *Portland* dan Tanah Tras yang Ditambahkan

Komposisi (%)		Berat (g)	
Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras
100	0	300	0
75	25	225	75
50	50	150	150
25	75	75	225
0	100	0	0

Semen *portland*, tanah tras, dan logam berat dimasukkan ke dalam mangkuk pengaduk dan diaduk menggunakan *mixer* selama  $\pm 2$  menit. Tujuan pengadukan menggunakan *mixer* ini adalah agar pencampuran antara material dan logam berat berlangsung secara sempurna. Setelah itu, adonan dimasukkan ke dalam cetakan.

#### C. Hasil Uji Kuat Tekan

Sebelum dilakukan uji kuat tekan, masing-masing benda uji ditimbang terlebih dahulu. Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dengan alat *Versa Tester Soil Test Type: Model ODP/91211 FRAME 56*. Uji kuat tekan ini dilakukan pada 14 benda uji. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai Uji Kuat Tekan

Pada grafik diatas dapat dilihat nilai kuat tekan berkisar antara 56 ton/m<sup>2</sup> hingga 2975 ton/m<sup>2</sup>. Pada

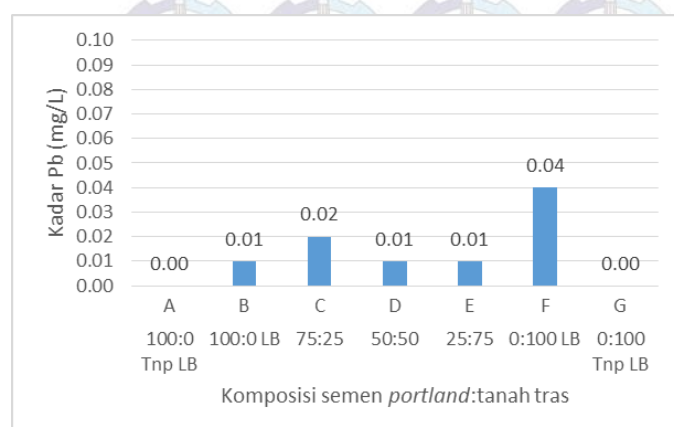


penelitian ini semua nilai kuat tekan pada benda uji masih memenuhi batas minimum yang telah ditetapkan oleh Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 tahun 1995 yaitu sebesar 10 ton/m<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil uji kuat tekan, penambahan tanah tras pada campuran semen *portland* mengakibatkan semakin menurunnya nilai kuat tekan. Hal ini berlaku pada setiap benda uji kecuali benda uji C. Pada benda uji C dengan perbandingan semen *portland* dan tanah tras 75:25 memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan benda uji dengan komposisi semen *portland* 100%. Sesuai dengan pernyataan Suryatmono dan Susilorini (2003) bahwa kuat tekan optimal yang dapat dicapai pada beton dengan campuran tanah tras mencapai 29,802 MPa atau setara dengan 2980,2 ton/m<sup>2</sup>.

Selama masa *curing* 28 hari benda uji dengan campuran semen *portland* dan tanah tras tidak mengalami keretakan. Hal ini disebabkan metode *curing* yang digunakan sesuai sehingga proses hidrasi pada semen *portland* berjalan sempurna karena benda uji dijaga untuk tetap lembab sejak pertama kali dilepaskan dari cetakan.

#### D. Hasil Uji TCLP

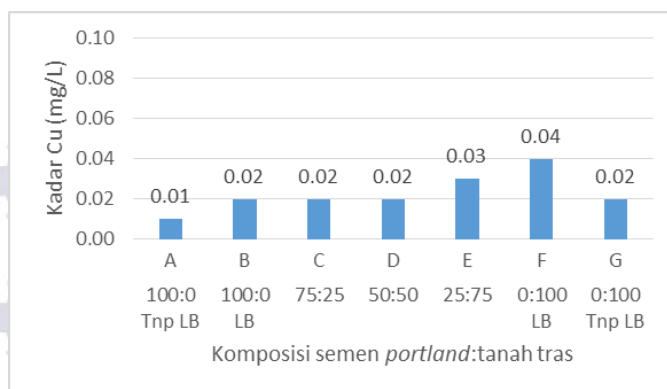
Analisis kadar logam berat Pb menggunakan metode dithizone dengan panjang gelombang 510 nm didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kadar Pb pada Sampel

Hasil uji TCLP menunjukkan pelindian logam berat Pb berkisar antara 0,00 mg/L hingga 0,04 mg/L. Berdasarkan hal tersebut maka hasil uji TCLP pelindian Pb masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pada PP RI No. 85 tahun 1999 yaitu sebesar 5 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa dengan komposisi tanah tras 100% masih mampu mengikat Pb dengan baik sehingga pelindiannya masih memenuhi baku mutu. Menurut Utomo dan Laksono (2007), sebagian kecil Pb berada di permukaan partikel semen sebagai hasil penyerapan/penggabungan dengan struktur silika, dan sebagian besar Pb lainnya tersebar secara luas pada seluruh matriks pada antar bidang partikel. Oleh karena itu, pelindian Pb sangat kecil.

Selain logam berat Pb, dilakukan analisis kadar logam berat Cu dalam sampel dengan menggunakan metode neocuproine pada panjang gelombang 450 nm. Pada Gambar 4. dapat dilihat kadar Cu dalam sampel.

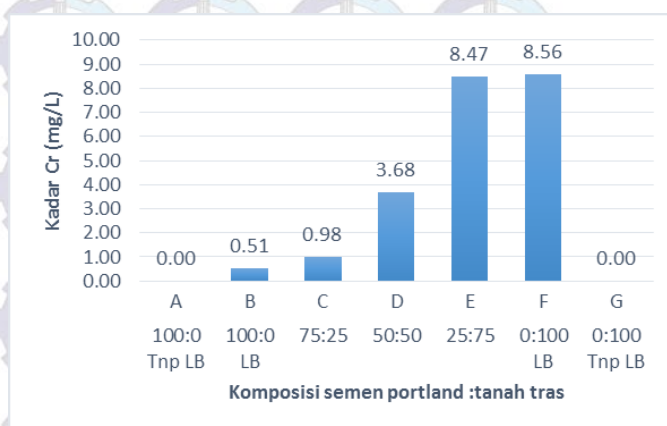


Gambar 4. Kadar Cu pada sampel

Pelindian logam berat Cu pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon berkisar antara 0,01 mg/L hingga 0,04 mg/L. Berdasarkan hal tersebut maka hasil pelindian logam berat Cu tersebut masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pada PP RI No. 85 Tahun 1999 yaitu sebesar 10 mg/L.

Sampel A dengan komposisi semen 100% tanpa penambahan logam berat terjadi pelindian logam berat Cu sebesar 0,01 mg/L. Sedangkan pada benda uji B, C, dan D terjadi pelindian logam berat Cu sebesar 0,02 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tanah tras sebagai pengganti semen hingga 50% berat semen tidak berpengaruh terhadap pelindian logam berat Cu. Namun pada benda uji E dan F terjadi peningkatan pelindian logam berat yaitu masing-masing sebesar 0,03 mg/L dan 0,04 mg/L. Hal ini menunjukkan pada komposisi 100% tanah tras dengan penambahan logam berat masih mampu mengikat logam berat Cu dengan baik sehingga pelindiannya masih memenuhi baku mutu. Menurut Bath dkk (2010) *pozzolan* alam (bentonit) mampu mengikat Cu dalam larutan dengan konsentrasi 100 mg/L sebesar 99,16%. Bajceta dkk (2013) menyatakan bahwa proses S/S dapat meremoval Cu di atas 99% dalam sampel dengan kandungan Ca(OH)<sub>2</sub> yang tinggi.

Selanjutnya dilakukan analisis kadar logam berat Cr(VI) pada sampel menggunakan metode kolorimetri. Pengukuran absorbansi menggunakan panjang gelombang 540 nm. Pada Gambar 5. dapat dilihat kadar Cr(VI) dalam sampel.



Gambar 5. Kadar Cr(VI) pada Sampel

Baku mutu uji TCLP untuk logam berat Cr(VI) berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999 adalah sebesar 5 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Cr(VI) yang terkandung dalam ekstraksi sampel antara 0,00 mg/L sampai



8,56 mg/L. Maka benda uji E dengan komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25, dan benda uji F dengan komposisi 100% tanah tras tidak memenuhi baku mutu.

Pada sampel A, sampel B, sampel C, dan sampel D terjadi penyerapan Cr(VI) dengan baik yaitu masing-masing sebesar 0,00 mg/L, 0,51 mg/L, 0,98 mg/L, dan 3,68 mg/L. Namun, pada sampel E dan F terjadi penurunan penyerapan Cr(VI) sehingga kadarnya tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Sampel E merupakan komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25, hal ini menunjukkan bahwa komposisi tersebut kurang sesuai digunakan untuk mengikat logam berat Cr(VI) pada limbah. Sedangkan pada sampel F dengan komposisi tanah tras 100% yang ditambahkan limbah buatan logam berat terjadi pelindian Cr(VI) sebesar 8,56 mg/L. Hal ini menunjukkan penambahan semen sebesar 25% (benda uji E) pada campuran adonan tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap penyerapan Cr(VI) jika dibandingkan dengan komposisi tanah tras 100%.

Hal tersebut sesuai pernyataan Utomo dan Laksono (2007), semen *portland* yang ditambahkan dalam proses solidifikasi berfungsi sebagai pengikat yang dapat menciptakan bentuk limbah yang lebih stabil. Sehingga semakin sedikit semen *portland* yang ditambahkan kedalam campuran adonan, maka semakin tinggi pelindian logam beratnya. Menurut Jain dan Garg (2008), penurunan pelindian Cr(VI) pada sampel bergantung terhadap waktu *curing*. Pada waktu 28 hari pelindian Cr(VI) tinggi dan menurun dalam kurun waktu *curing* 90 hari, 160 hari, dan 360 hari.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Tanah tras merupakan *pozzolan* alam yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Komposisi semen *portland*:tanah tras 50:50 merupakan komposisi optimum. Pada komposisi ini pelindian logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pada PP RI No. 85 Tahun 1999 yaitu masing-masing 0,02 mg/L, 3,68 mg/L, dan 0,01 mg/L. Selain itu, nilai kuat tekan pada komposisi ini sebesar 1750 ton/m<sup>2</sup> yang telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 tahun 1995 yaitu sebesar 10 ton/m<sup>2</sup>.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bajceta, D.I., Kamberovic, Z., korac, M., dan Gavrilovski, M. 2013. "A Solidification/Stabilization Process for Wastewater Treatment Sludge from a Primary Copper Smelter". *Journal of The Serbian Chemical Society*. 78 (5): 725-739.
- [2] Carpio, I.E.M., Machado-santelli, G., Sakata, S.K., Filho, S.S.F., dan Rodrigues, D.F. 2014. "Copper Removal Using A Heavy-Metal Resistant Microbial Consortium in A Fixed-Bed Reactor". *Water Research* 62: 156-166.
- [3] Eaton, A.D., Clescer, L.S., Rice, E.W., dan Greenberg, A.E. 2005. "21<sup>st</sup> Edition Standards Methods for The Examination of Water & Wastewater". Washington: American Public Health Association.
- [4] Giyatmi, Kamal, Z., dan Melati, D. 2008. "Penurunan Kadar Cu, Cr, dan Ag dalam Limbah Cair Industri Perak di Kota Gede Setelah di Adsorpsi dengan Tanah Liat dari Daerah Godean". *Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta 25-26 agustus 2008.
- [5] Hartati, I., Riwayati, I., dan Kurniasari, L. 2011. "Potensi Xanthate Pulpa Kopi sebagai Adsorben pada Pemisahan Ion Timbal dari Limbah Industri Batik". *Momentum* 7 (2): 25-30.
- [6] Jain, N., dan Garg, M. 2008. "Effect of Cr(VI) on the Hydration Behavior of Marble Dust Blended Cement: Solidification, Leachability and XRD Analyses". *Construction and Building Materials* 22: 1851-1856.
- [7] Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., dan Olama, Z. 2014. "Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica, and Silica Activated Carbon Composite". *Energy Procedia* 50: 113-120.
- [8] Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 03 Tahun 1995 tentang "Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". BAPEDAL. Jakarta
- [9] Leonard, S.A., dan Stegemann, J.A. 2009. "Stabilization/solidification of Petroleum Drill Cuttings: Leaching Studies". *Journal Of Hazardous Materials* 174: 484-491.
- [10] Monintja, S., Turangan, A.E., dan Sarajar, A.N. 2013. "Pengaruh Campuran Tras dan Kapur pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung". *Jurnal Sipil Statik* 1 (6): 390-399.
- [11] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 tentang "Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". Pemerintah RI. Jakarta
- [12] Suryoatmono, B., dan Susilorini, Rr.M.I.R. 2003. "Trass, Masa Depan Bagi *Pozzolan* Alam Sebagai Agregat Alternatif Untuk Campuran Beton". *Seminar Nasional: Sustainability Dalam Bidang Material, Rekayasa, dan Konstruksi Beton*.
- [13] Utomo, M.P., dan Laksono, E.W. 2007. "Kajian Tentang Proses Solidifikasi/Stabilisasi Logam Berat Dalam Limbah Dengan Semen Portland". *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta, 25 Agustus.